

「リンク機構を用いたリハビリ患者のためのアクチュエータレス起立支援デバイス」
 関西学院大学工学部知能・機械工学課程 嵯峨 宣彦

1 研究の背景と目的

肢・体幹の機能低下を発症した高齢者の起立支援システムの現状は、図 1 に示すように大きく分けて、ウェアラブル型と非ウェアラブル型に分類される。非装着型では以下の 2 つが広く普及しており代表的である。1 つは療法士などの介助支援動作を模範にした胸部支持型、もう 1 つは座面上昇型のものである。胸部支持型の課題は、起立動作時の支援機への依存性が高く、支援機を使用して起立動作を行う中で、身体機能回復に伴う起立時動作の獲得へとつながらないことであり、座面上昇型は支援後の起立姿勢が保たれることが必要となるため、残存する筋力が十分にあることが前提となる。非装着型でも腰回りにベルトを掛けて吊り上げる吊り上げ型があるが、介助者が必要となることから病院や高齢者設備での利用が主となる。一方で現在、病院などで試行されているウェアラブル型では外骨格型支援機があるものの使用者に合わせたアシスト設定などの事前調整や使用のための訓練が必要となり、装着時にも介助が必要で時間を要し、高額なため一般に普及していない。そこで、自力による起立動作を獲得でき、一般的に使用されている下肢装具のようにユーザー自身で装着可能、かつアクチュエータレスで支援を行える起立支援デバイスの開発を目的としている。

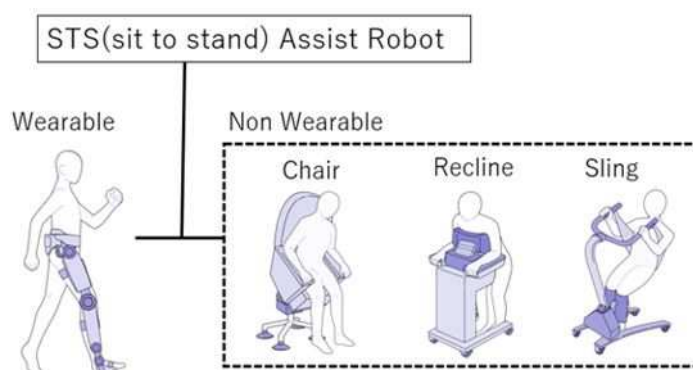


図 1. 起立支援機の種類

2 研究方法・研究内容

2.1 支援機構

本支援機の構造と支援メカニズムを図 1 に示す。本機は、1)臀部離床支援、2)膝関節伸展補助、3)膝と足首の固定 という 3 つの支援を行っている。第 2 相においては、前に倒れる力を臀部の持ち上げる力に変換する。この支援は、膝関節屈曲リミッタによって大腿リンクと下腿リンクの角度が一定となることにより実現している。第 3 相においては、膝の伸展に伴い、下腿リンクの回転軸があぶみの溝に沿って下に移動する。それに応じて、稼働リンクがその軸を中心として回転する。前方支柱を介して、その力が下腿フレームに伝わり、膝を伸展させる方向に支援する。第 4 相においては、膝関節屈曲リミッタによって下腿リンクと大腿リンクが固定され、安定した起立姿勢が支援される。その後、歩行動作の支援として機能する。

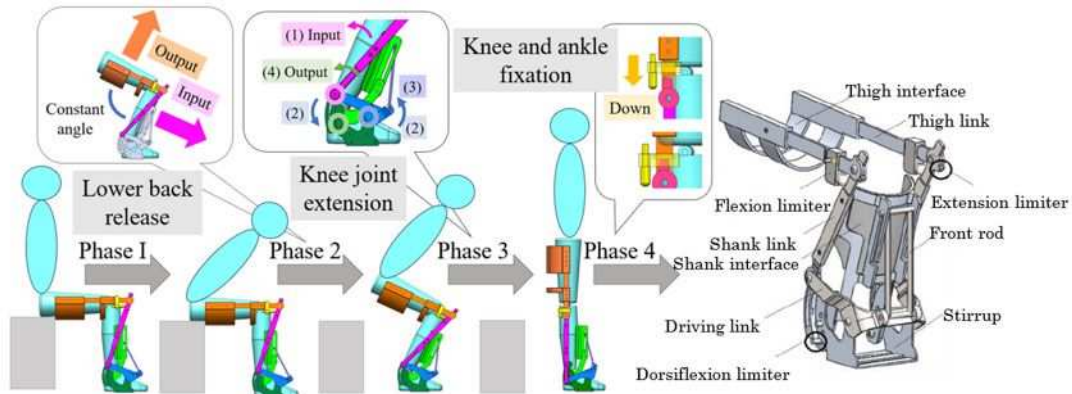


図 2. 本支援機の支援メカニズムと構造

2.2 研究内容

支援機の機構部品について CFRP 材を用いた 3 次元プリンタ Mark Two (Markforged Inc., USA) によって試作した. この機器は Onyx (マイクロ炭素繊維充填ナイロン) を Carbon fiber で強化した 2 種類の材料を使用し, 高強度な CFRP を作成できる世界初の製品として注目されている. 3D プリンタで試作した CFRP 材の強度設計については, 市場に出て間もないため未だ不明な点が多いことから, 材料試験による物性値の推定と起立支援機の強度設計を行った. さらに, 強度設計を基に試作機を製作し, 面荷重センサを用いてアシスト力を評価した.

2.2.1 強度設計

強度特性を確認するために, 引張試験, 曲げ試験を実施した. 14 種類の試験片を製作し, “繊維方向ごとの材料特性の違い”, “繊維の充填率ごとの材料特性の違い”, “積層面の違いによる材料強度の違い”を確認した. なお, 引張試験は JISK7161 に, 曲げ試験は JISK7074 に従い実施した. 材料試験の結果を図 3 に示す. Onyx のみで造形した全てのサンプルにおいて, その引張/曲げ特性は, 延性材料としての性質を持つことが分かった. また, Carbon を含有した場合, 45°/135°に繊維が配合された曲げ試験片以外は, 脆性材料としての特徴を持つことが分かった. 図 3①のように, 引張/曲げ試験ともに, 15°/165° > 45°/135° > Full Onyx の順で強度が高くなっていた. 図 3②に示す通り, 繊維の含有率が上がれば高い強度となった. また, 含有率と強度の関係は比例関係にはならないことなどが分かった. 図 3③のように, 積層面が 10×2 [mm²]

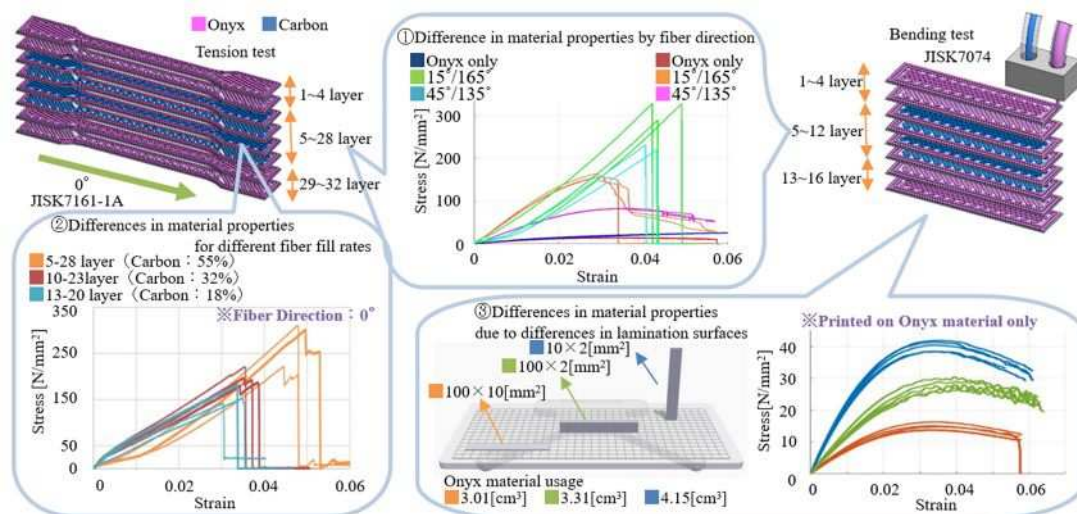


図 3. 材料試験の実験結果

の試験片が一番高い強度を示していた。この結果には空隙率が影響していると考えられる。最も高強度となった試験片は、Onyx 材の使用量が多く、その分、内部の空隙も少なくなり、強度が高くなったと考えられる。

2.2.2 評価

試作した起立支援機を装着して、図 1 に示すこの支援機の 3 つの機能を確認することができた。さらに、臀部離床時の支援力を面荷重センサ(saf loadpad 15cm x 10cm, novel electronics inc., USA)で 3 回計測した。試作機の外観と実際に装着して行った実験の様子を図 4 に示す。

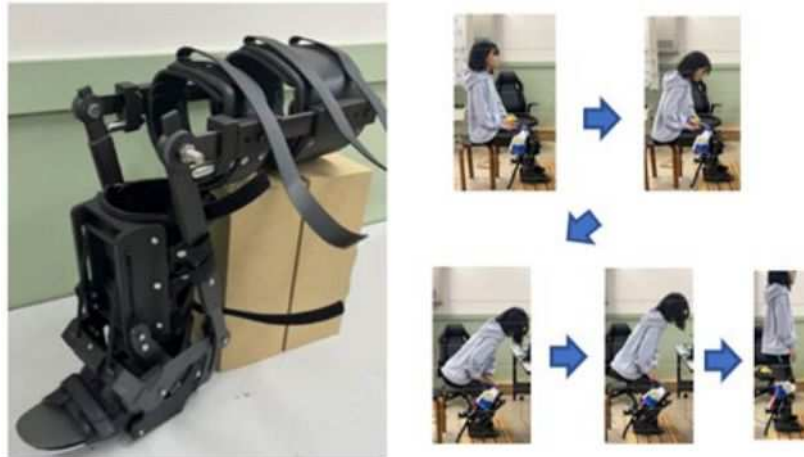


図 4. 試作機と装着実験の様子

臀部離床に必要な押し上げ力を人体の重量比を基に計算した。大腿部を除く下肢の重量は、人体の総重量に対し 16%であるため、片足の臀部離床に必要な押し上げ力は 42%必要である。センサ装着した評価試験から、起立動作の初動で得られた膝インターフェイスの押し付け力は図 5 左側に示す通り 105N 程度、臀部の持ち上げ力は図 5 右側に示す通り 80N 程度となった。本実験での実験協力者の体重を基に臀部離床支援時に必要とする力を求めると約 190[N]であったことから、40%程度の支援力が得られていることが確認できた。

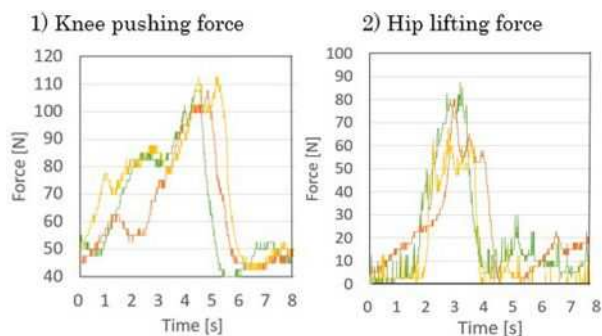


図 5. センサを装着した評価試験の結果

3 研究成果

本研究において、起立支援の為の下肢外骨格アクチュエータレス機構を開発し試作機を製作、評価した。装着による評価において、本機構の主たる 3 つの支援機構、1) 初動で生じる膝関節運動を利用して臀部離床支援と、2) 臀部離床後に下肢関節に協調して動く下腿を後傾誘導する膝折れ防止機構、3) 安定した起立姿勢の保持機構が確認できた。さらに、支援機構の 1) 臀部離床支援について、面荷重センサを用いて、膝イ

ンターフェイスおよび大腿インターフェイス部の発生力について計測した。膝インターフェイスでは必要な力の 55%以上、大腿インターフェイス部では 40%以上を確保できていることが明らかとなった。さらに、本試作機は、CFRP 材を用いた 3D プリントによる製作であったことを考えると安価なコストで、患者にとって障害度合いや身体的特徴に応じた試作機の対応ができ有効であることが確信できた。

4 生活や産業への貢献および波及効果

厚生労働省「患者調査」では、2020 年の脳血管疾患の患者数は 174.2 万人 (男性 94.1 万人・女性 80.1 万人)、年度は異なるものの脳卒中等による片まひ者数は全国で約 27 万人 (06 年身体障害児・者実態調査) に達しており年々 増加の傾向にある。一方、片まひ者のためのリハビリテーション分野における有効な機器の開発は遅れている。そこで、本研究では脳血管障害・片麻痺者を対象とする、アクチュエータを用いない制御レスかつ軽量な外骨格型の起立動作支援機を開発した。この支援機の新規な点は、起立動作時、装着者の体幹が前傾すると、上体重心に前いた方運動量が生じ、装置の膝関節部の機構によってその前方運動量は装着者の臀部を座面から挙上させ、かつ装置の膝伸展運動を入力として下腿後傾運動が連鎖的に生じ、重心上昇の支援力として発揮されることである。このため、アクチュエータを不要とすることから安価で製作でき、3 次元プリンタで製作できることから個人の身体特徴に合わせて製作できる、特別な訓練を必要とせず使用できる、などの点であり、装着して使用しながら患側の麻痺肢が健常な側の肢の動作に併せて筋力回復できるようになっている。

本研究の評価結果から体重の 40%程度のアシスト力が確保されていることも明らかとなり、下肢の随意運動可能な患者に対して有効な支援機であることが確認できた。今後益々進む超高齢化社会において、QOL の一助として期待できる。